

На правах рукописи



**Нигматуллина Динара Магафуровна**

**СНИЖЕНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
СПОСОБОМ ИХ ГЛУБОКОЙ ПРОПИТКИ ОГНЕБИОЗАЩИТНЫМИ  
СОСТАВАМИ**

Специальность: 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность  
(технические науки, отрасль строительство)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2017

Работа выполнена на кафедре пожарной безопасности в строительстве Академии государственной противопожарной службы МЧС России.

Научный руководитель: Сивенков Андрей Борисович,  
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Шелоумов Андрей Валентинович,  
доктор технических наук, доцент кафедры  
технологии древесных и целлюлозных  
композиционных материалов,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный лесотехнический  
университет имени С.М. Кирова»

Степина Ирина Васильевна,  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры строительных  
материалов и материаловедения  
ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский Московский  
государственный строительный университет»

Ведущая организация: ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак  
Почета» научно-исследовательский  
институт противопожарной обороны»  
МЧС России

Защита состоится «06» марта 2018 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 205.002.02 в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте:

<http://academygps.ru/upload/iblock/a2a/a2a99bac39c322eb4280e38ed74bb4c7.pdf>

Автореферат диссертации разослан «29» декабря 2017 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Сивенков Андрей Борисович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Древесина – уникальный природный композиционный материал, занимающий по своему применению лидирующие позиции в различных отраслях промышленности и народного хозяйства. Она обладает такими положительными качествами, как легкость механической обработки, гидrolитическая устойчивость и декоративность. По своим физико-механическим свойствам, соотношению показателя прочности к массе, древесина может уступать только синтетическим полимерным материалам.

Несущие и ограждающие деревянные конструкции (ДК) благодаря своим положительным эксплуатационным качествам традиционно находят свое широкое применение в строительстве зданий и сооружений различного функционального назначения. Несмотря на это, древесине присущи такие недостатки как гигроскопичность, анизотропность, подверженность к биологическому поражению, что значительно снижает срок службы ДК, а также высокая пожарная опасность.

Одним из центральных вопросов при использовании деревянных конструкций в строительстве является обеспечение требуемых показателей по пожарной опасности и огнестойкости. В соответствии со ст. 58 Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 года огнестойкость и класс пожарной опасности строительных конструкций должны обеспечиваться за счет их конструктивных решений, применения соответствующих строительных материалов, а также использования средств огнезащиты. Строительство зданий и сооружений с применением индустриальных ДК, а также современные тенденции требуют достижения соответствующего класса их пожарной опасности с обеспечением требуемых показателей по огнестойкости. Исходя из анализа проведенных исследований и огневых испытаний получение данных результатов возможно только при использовании конструктивных видов огнезащиты, применения вспучивающихся огнезащитных материалов и способов глубокой пропитки огнезащитными составами. Все эти виды огнезащиты имеют как свои преимущества, так и недостатки, что не позволяет в полной мере решать комплексную задачу применения ДК в строительстве с учетом безопасности, долговечности и технологичности.

Наиболее предпочтительно с точки зрения обеспечения комплекса эксплуатационных и пожаробезопасных характеристик является применение вспучивающихся прозрачных огнезащитных лаковых покрытий и способов глубокой пропитки деревянных конструкций. В случае применения вспучивающихся огнезащитных покрытий возможно значительное снижение пожарной опасности ДК, однако при этом в должной мере не обеспечивается их биостойкость. Как правило, в данном случае рассматривается проблема биологической стабильности самих покрытий путем введения в их состав различных консервантов. Для обеспечения эффективной биостойкости необходимо осуществление процесса направленной модификации лигноуглеводной части древесного комплекса. С этих позиций решение рассматриваемой научной проблемы можно успешно решить только с

использованием способов глубокой пропитки огнебиозащитными составами (ОБЗС), обладающих эффективностью в снижении пожарной опасности деревянных конструкций и повышении стойкости древесины к действию различных видов биологических повреждений. При этом, особое внимание должно уделяться сохранению комплекса эксплуатационных характеристик конструкций из древесины, которые обеспечивают устойчивость и конструкционную безопасность эксплуатации зданий и сооружений с применением ДК.

#### **Степень разработанности темы исследования.**

На протяжении прошлого столетия в СССР проводились фундаментальные исследования по изучению различных способов консервации древесины с целью улучшения эксплуатационных характеристик и срока службы деревянных изделий и элементов конструкций. Особенную значимость данные исследования получили в таких сферах как строительство, деревообработка, железнодорожный транспорт, телеграфное агентство, а также судостроение. Большой вклад в развитие данного направления внесли такие видные отечественные и зарубежные ученые как: Баракс А.М., Беленков Д.А., Борщевский А.Н., Вакин А.Т., Ванин С.И., Варфоломеев Ю.А., Герценштейн В.И., Горшин С.Н., Григорьев А.Ф., Ермолин В.Н., Сапожников А.В., Стенина Е.И., Максименко Н.А., Миллер В.В., Никифоров Ю.Н., Расев А.И., Серговский П.С., Хмелев В.Н., Chow S.Z., Nagano M., Richardson B.A., Simens S., Williams G. Работы этих ученых положили свое начало развитию исследований в этом направлении с конца XIX и начала XX века. В результате этих исследований разработаны теоретические основы повышения долговечности ДК с созданием широкого круга препаратов комплексного действия (антипирены, антисептики, биоциды и т.д.). Многие из них производятся в промышленных условиях и рекомендованы к применению действующей нормативно-технической документацией.

Особое значение при консервации древесины играет возможность значительного снижения горючести древесного материала. Это достигается использованием так называемых универсальных огнебиозащитных препаратов, способных обеспечить как долговечность древесины, так и повысить ее устойчивость к воздействию пожара. Задача в подобной постановке решалась такими учеными как: Асеева Р.М., Балакин В.М., Кобелев А.А., Кодолов В.И., Леонович А.А., Мельников Н.О., Никифорова Т.П., Орлова А.М., Покровская Е.Н., Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Тычино Н.А., Таубкин С.И., Шелоумов А.В., Dyer J.A., Vandersall H.L. и многими другими.

Несмотря на то, что более глубокое проникновение пропиточных составов в структуру древесины должно обеспечивать гарантированную огнебиозащиту ДК, способы глубокой пропитки применяются менее активно по сравнению с поверхностной пропиткой древесины. Это обусловлено, прежде всего, экономической целесообразностью и трудоемкостью процесса глубокой пропитки. Кроме этого, по результатам немногочисленных работ в области огнезащиты древесины путем глубокой пропитки антипиренами, показано снижение эксплуатационных характеристик ДК, ухудшение их декоративности и сложность обеспечения высоких показателей биостойкости и долговечности. По этой причине развитие данного направления консервации ДК антипиренами в

последние десятилетия фактически не происходило. Не определены перспективы возможности применения способов глубокой пропитки древесины огнебиозащитными составами для снижения пожарной опасности деревянных конструкций. Тем не менее, развитие деревянного домостроения и современные тенденции в этой сфере предопределяют повышенные требования к показателям пожарной опасности и огнестойкости ДК, а также решение комплексной задачи по обеспечению их биостойкости, долговечности и пожаробезопасности. Отсутствие научных исследований в этом направлении определяют актуальность настоящей диссертационной работы.

**Цель работы** – снижение пожарной опасности деревянных конструкций способом их глубокой пропитки огнебиозащитными составами с сохранением эксплуатационных показателей и долговечности ДК.

**Указанная цель предопределила следующие задачи исследования:**

– провести теоретические исследования по применению способов глубокой пропитки огнебиозащитными составами для древесины, обосновать выбор и применение ОБЗС, а также режимов пропитки для снижения пожарной опасности деревянных конструкций;

– установить технологические параметры и характеристики ОБЗС, оказывающие влияние на пожарную опасность, огнестойкость и другие эксплуатационные показатели ДК;

– исследовать характеристики пожарной опасности элементов ДК с импульсной глубокой пропиткой различными видами ОБЗС;

– провести огневые испытания по определению класса пожарной опасности ограждающих ДК с импульсной глубокой пропиткой различными видами ОБЗС.

**Объект исследования:** огнебиозащита деревянных конструкций.

**Предмет исследования:** эффективность импульсной глубокой пропитки древесины ОБЗС в снижении пожарной опасности деревянных конструкций, а также ее влияние на комплекс эксплуатационных характеристик ДК.

**Научная новизна работы:**

– впервые решена научная задача эффективного снижения пожарной опасности ДК способом импульсной глубокой пропитки ОБЗС с сохранением эксплуатационных показателей;

– установлена возможность сохранения и повышения физико-механических показателей деревянных конструкций с использованием импульсной глубокой пропитки огнебиозащитными составами и достижением требуемых показателей по пожарной опасности и биостойкости материалов и конструкций из древесины;

– показано влияние расходов сухого вещества и видов огнебиозащитных составов на теплопроводность древесного материала с импульсной глубокой пропиткой;

– экспериментально установлено, что введение ОБЗС в структуру древесины позволяет перевести ее в группу материалов с малой дымообразующей способностью, с умеренной воспламеняемостью и нераспространяющих пламя по поверхности материалов, а также значительно снизить величину теплового эффекта и степень термического повреждения при огневых испытаниях по оценке класса пожарной опасности ДК;

– доказано, что применение импульсной глубокой пропитки способствует снижению интенсивности процесса обугливания и температурного прогрева конструкции, что должно положительно сказаться на повышении огнестойкости ДК.

**Теоретическая и практическая значимость работы заключается:**

– в возможности применения полученных математических зависимостей, характеризующих интенсивность прогрева конструкций, для прогнозной оценки предела огнестойкости ДК с импульсной глубокой пропиткой ОБЗС;

– в получении комплекса экспериментальных значений показателей пожарной опасности ДК с импульсной глубокой пропиткой ОБЗС для моделирования динамики развития пожара, оценки нарастания опасных факторов пожара (ОФП) в зданиях и сооружениях различных классов функциональной пожарной опасности;

– в установлении технологических режимов импульсной глубокой пропитки различными видами ОБЗС для достижения требуемых показателей пожарной опасности деревянных конструкций и сохранением эксплуатационных показателей ДК;

– в получении значений скоростей обугливания, параметров воспламенения, данных по прогреву в условиях огневых испытаний деревянных конструкций с глубокой пропиткой огнебиозащитными составами для использования в расчете огнестойкости ДК;

– в значительном снижении пожарной опасности и достижении класса пожарной опасности деревянных конструкций (К1, К2) с глубокой импульсной пропиткой огнебиозащитными составами с установлением оптимальных параметров этого процесса, а также с использованием комбинированных способов огнебиозащиты.

**Методология и методы исследования.** Поставленные задачи решались путем теоретических и экспериментальных исследований. Основу теоретических исследований составлял анализ отечественных и зарубежных работ, посвященных изучению поведения ДК в условиях пожара, а также методы математического моделирования с применением программных комплексов *Excel*, выявления закономерностей, описания и обобщения. Экспериментальные исследования включали в себя применение комплекса физических и стандартных пожарно-технических методов исследований.

**Практическая значимость работы подтверждена использованием результатов исследования при:**

– обеспечении требуемых показателей пожарной опасности зданий и сооружений с деревянными конструкциями на предприятии ООО «Ловин-огнезащита» (г. Москва);

– обеспечении требуемых показателей пожарной опасности древесины и деревянных конструкций путем импульсной пропитки огнебиозащитным составом марки «Аммафон» на предприятии ООО «Нитон» (г. Екатеринбург);

– включении комплекса экспериментальных значений показателей пожарной опасности деревянных конструкций с импульсной глубокой пропиткой огнебиозащитными составами в базу характеристик горючих нагрузок *FireCategories* – расчет категорий, *FIM*-интегральная модель пожара, *PyroSim* –

полевая модель пожара, предназначенных для моделирования опасных факторов пожара и расчета пожарного риска в зданиях и сооружениях различных классов функциональной пожарной опасности;

- получении ДК с импульсной глубокой пропиткой огнебиозащитными составами на производственной базе ООО «Лесопереработка» для строительства объектов деревянного домостроения (Свердловская область, г. Березовский, пос. Монетный);

- подготовке учебно-методических материалов и фондовых лекций «Средства защиты древесины» по дисциплинам «Технология и оборудование защитной обработки древесины», «Теория, техника и технология защиты древесины» в Уральском государственном лесотехническом университете;

- чтении курса лекций «Поведение деревянных конструкций в условиях пожара» и «Пожарная опасность древесины и материалов на ее основе» по дисциплине «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре», а также при написании учебно-методических материалов по данной дисциплине в Академии государственной противопожарной службы МЧС России.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

- обоснование выбора технологических режимов глубокой пропитки различными видами ОБЗС для достижения требуемых показателей пожарной опасности древесины и ограждающих деревянных конструкций;

- оценка влияния способа глубокой импульсной пропитки элементов деревянных конструкций различными видами огнебиозащитных составов на физические, теплофизические и физико-механические показатели древесины;

- результаты оценки влияния импульсной глубокой пропитки деревянных конструкций различными видами ОБЗС на их эффективность, биостойкость и устойчивость к старению, а также адгезию лакокрасочных покрытий к поверхности ДК с огнебиозащитой;

- влияние способа импульсной глубокой пропитки древесины различными видами огнебиозащитных составов на пожарную опасность элементов ДК. Эффективность комбинации различных способов огнезащиты для достижения высокого эффекта в снижении пожарной опасности ДК и повышения их биостойкости;

- полученный комплекс экспериментальных значений показателей пожарной опасности ограждающих деревянных конструкций с глубокой импульсной пропиткой огнебиозащитными составами;

- результаты экспериментальной оценки пожарной опасности деревянных конструкций с импульсной глубокой пропиткой различными огнебиозащитными составами в соответствии с ГОСТ 30403-2012.

#### **Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:**

- использованием стандартных пожарно-технических и физических методов исследования в аккредитованных и научно-исследовательских лабораториях Академии ГПС МЧС России, Уральского лесотехнического университета и АНО по сертификации «Электросерт» с использованием сертифицированного, аттестованного и поверенного оборудования;

- достаточной точностью методов и средств измерения;

- выбором параметров и критериев, позволяющих сравнивать теоретические и экспериментальные данные;
- соответствием методик проведения огневых испытаний реальным условиям работы ограждающих деревянных конструкций;
- внутренней непротиворечивостью полученных данных.

**Апробация результатов работы.** Основные положения проведенных исследований были доложены и обсуждены на следующих конференциях и семинарах: Всероссийской научной конференции и школы молодых ученых «Системы обеспечения техносферной безопасности», г. Таганрог (2015); VI международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций», Кокшетауский технический институт МЧС Республики Казахстан, г. Кокшетау, Республика Казахстан (2015); 24-й международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2015», г. Москва (2015); V международной научно-практической конференции молодых ученых «Проблемы техносферной безопасности – 2016», г. Москва (2016); Дни науки «Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации» в ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург (2016); VII Международной научной конференции «Композит-2016» «Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология», г. Энгельс (2016); 25-й международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2016», г. Москва (2016); научно-практической конференции «Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности» в ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург (2016); VIII международной конференции «Полимерные материалы пониженной горючести», г. Алматы, Республика Казахстан (2017); Международной научной конференции «Молодые исследователи – регионам» г. Вологда (2017); XXX международная научно-практическая конференция «Горение и проблемы тушения пожаров», г. Балашиха, ВНИИПО МЧС России (2017).

**Публикации.** Основные результаты диссертации опубликованы в виде 18 статей и докладов, в том числе 5 научных статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 153 наименований и 4 приложений. Работа изложена на 201 странице машинописного текста, содержит 33 рисунка и 14 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** представлена актуальность решаемой научной задачи, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, отражена научная новизна и практическая значимость результатов исследования, их апробация.

**В первой главе** представлены результаты теоретических и экспериментальных работ в области исследования свойств и структуры древесины, снижения ее пожарной опасности путем применения различных



способов и видов огнезащиты. Отмечается ограниченное количество работ, связанных с изучением эффективности способов глубокой пропитки огнебиозащитными составами для древесины и конструкций на ее основе с обеспечением требуемых эксплуатационных характеристик, показателей пожарной опасности и параметров обугливания, определяющих огнестойкость ДК.

**Во второй главе** представлены характеристики объектов и методов исследования.

Объектами исследования являются строительные материалы и конструкции из цельной древесины хвойных пород (сосны обыкновенной (*P. sylvestris*) – *Common pine*), произрастающей в Уральском регионе. Плотность исследуемой древесины изменялась в пределах 500 – 525 кг/м<sup>3</sup>.

Эффективность способов глубокой пропитки для огнебиозащиты древесины проводилась в отношении трех огнебиозащитных систем: система на основе раствора неорганических азот-фосфорсодержащих соединений (состав 1), система на основе органических азот-фосфорсодержащих соединений, в качестве которой использовался промышленно выпускаемый огнебиозащитный состав «Аммафон» (состав 2) и система на основе органических пленкообразующих вспучивающихся веществ, в качестве которой использовался продукт окисления растительных полисахаридов (состав 3). Характеристики огнебиозащитных составов представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Характеристики огнебиозащитных составов**

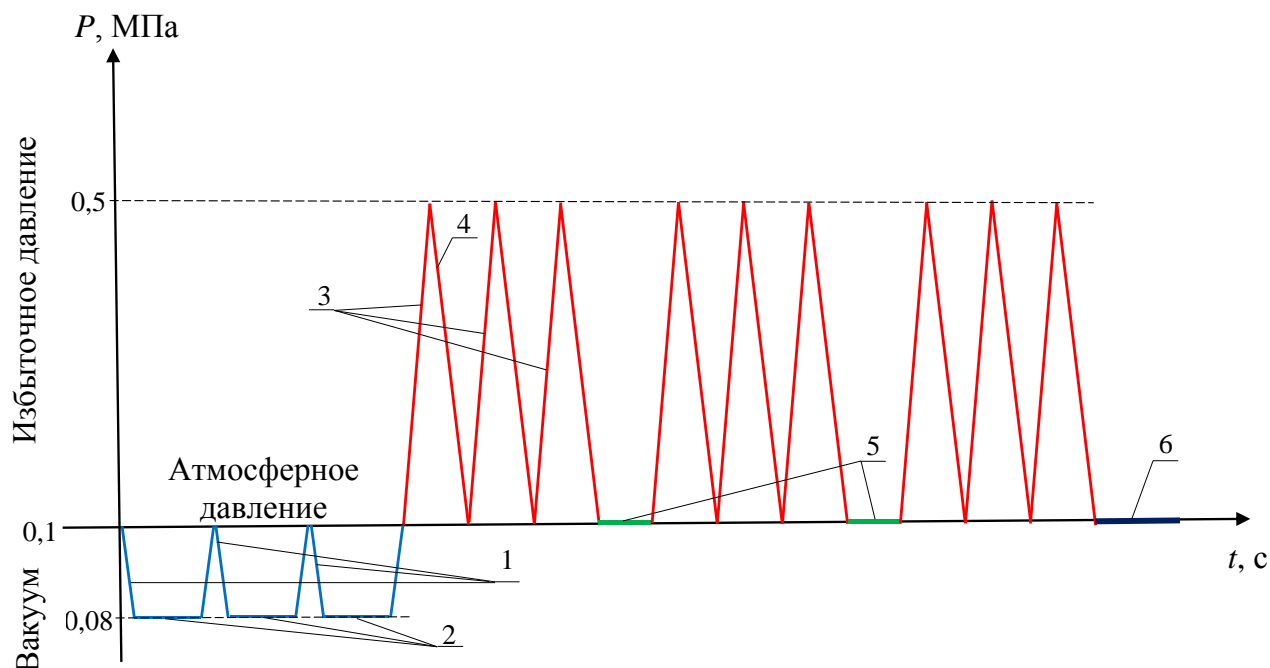
Характеристики составов	Наименование огнебиозащитных составов		
	Состав 1	Состав 2	Состав 3
Внешний вид	прозрачная жидкость светло-желтого цвета	прозрачная жидкость светло-коричневого цвета	вязкая жидкость коричневого цвета
Концентрация сухих веществ, %	28,5	45-46	35
Концентрация водородных ионов (рН)	4-4,5	6,5-7,5	10,5-12,5
Огнезащитная эффективность по ГОСТ 53292-2009 при поверхностном нанесении	I группа огнезащитной эффективности при расходе 400 г/м <sup>2</sup>	I группа огнезащитной эффективности при расходе 400 г/м <sup>2</sup>	I группа огнезащитной эффективности при расходе 300 г/м <sup>2</sup>

Оценка биозащитных свойств составов проводилась в соответствии с ГОСТ 30028.4. Составы 1 и 2 обеспечивают высокоэффективную защиту древесины от действия дереворазрушающих грибов вида *Coniophora puteana*, грибов синевы, плесени и т.п. Максимальная эффективность достигается при комбинировании способов глубокой и поверхностной пропитки. Использование исключительно глубокой пропитки не позволяет полностью снизить вероятность развития биодеструкции на поверхности деревянной конструкции.

Для исследования влияния глубины проникновения ОБЗС при одинаковом привесе сухого вещества на огнезащитную эффективность составов, образцы по ГОСТ Р 53292-2009 были пропитаны на незначительную глубину (0,5 – 1 мм) способом вакуум – атмосферного давления (ВАД) и введены в структуру

древесины на 10 – 15 мм с помощью высокоскоростного метода консервирования древесины, основанного на применении импульсно создаваемого глубокого вакуума и невысокого переменного гидродавления вакуум – давление (ВД).

При подготовке образцов древесины и деревянных конструкций для оценки их пожарной опасности был использован способ ВД (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Режимы пропитки элементов цельной древесины для определения класса пожарной опасности деревянных конструкций:**

1 – создание вакуума; 2 – выдержка древесины в вакууме; 3 – создание гидродавления; 4 – снижение гидродавления до атмосферного за счет поглощения раствора древесиной; 5 – выдержка древесины при атмосферном давлении; 6 – удаление раствора и выгрузка образцов

Способ ВД применялся для максимального насыщения древесины водорастворимыми защитными средствами. Применение предлагаемого режима позволяет быстро обеспечить максимальное насыщение защитным препаратом умереннопропитываемой древесины на достаточной глубине при низких энергозатратах. Параметрами защищенности древесины при консервировании являлись величина поглощения, глубина проникновения пропитываемого вещества и равномерность его распределения в пропитываемой зоне.

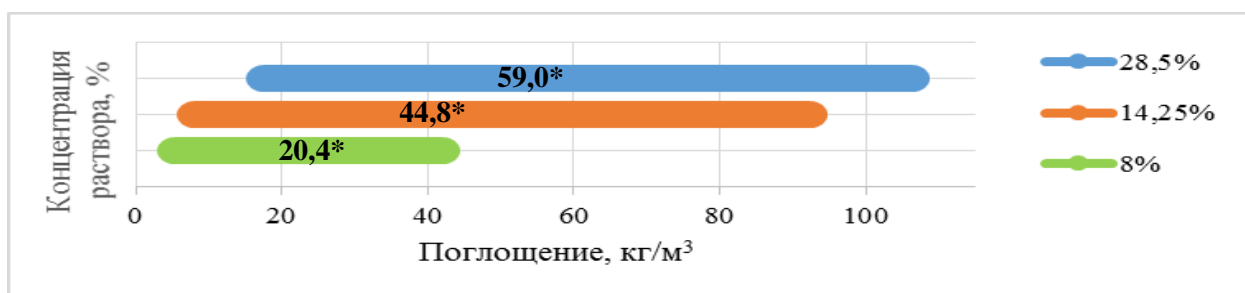
Для исследования образцов древесины в работе был привлечен комплекс стандартных пожарно-технических и физических методов, в том числе методы по оценке воспламеняемости, распространения пламени по поверхности материалов, дымообразующей способности, прочностных характеристик образцов древесины в различных напряженных состояниях, а также адгезии лакокрасочных материалов к поверхности деревянной подложки с огнебиозащитными составами.

Для проведения огневых испытаний по ГОСТ 30403-2012 была изготовлена специальная рама-держатель для образцов вертикальных ограждающих конструкций размером 2,4x1,3 м из бруса древесины сосны с глубокой пропиткой огнебиозащитными составами.

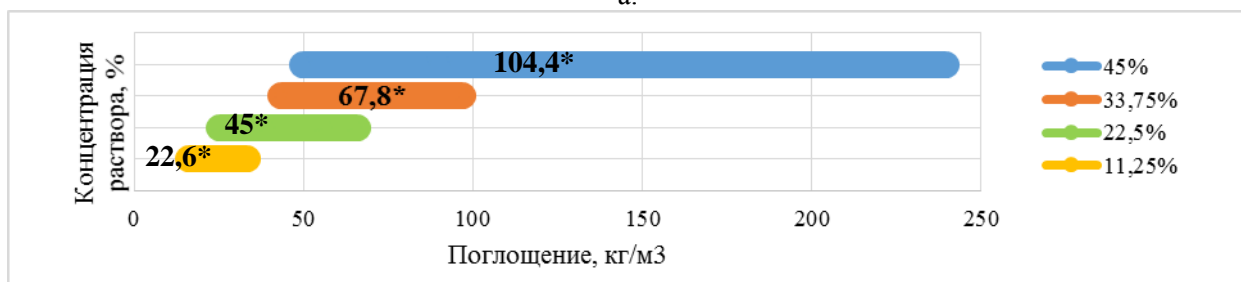
**В третьей главе** представлены результаты исследования влияния глубокой пропитки огнебиозащитными составами элементов деревянных конструкций на их теплофизические, физические и физико-механические характеристики.

Отработка режимов пропитки проводилась на стандартных образцах для оценки эффективности средств огнезащиты размерами 150x30x60 мм.

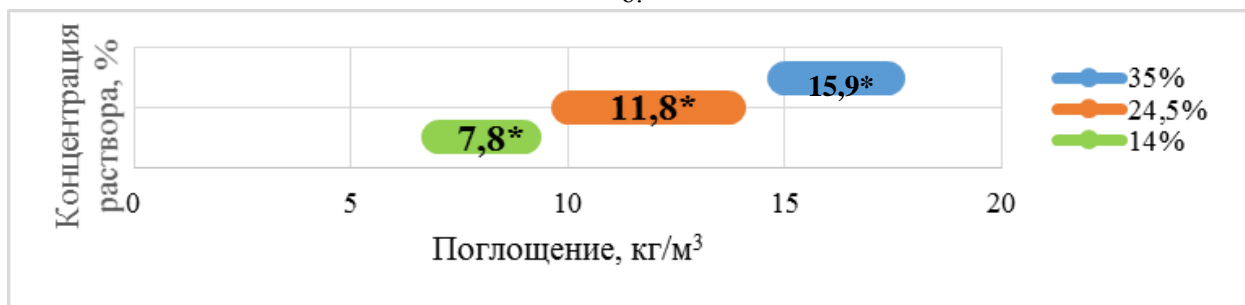
Режим вакуумирования при пропитке древесины по способам ВАД и ВД включал выдержку образцов в растворе в условиях разряжения до 0,08 МПа. Избыточное давление при пропитке способом вакуум-давление составляло 0,2 МПа для низковязких составов (1 и 2), для состава с высокой вязкостью (3) – 0,4 МПа. Применение относительно невысокого импульсного давления позволяет исключить возникновение явления компрессии («плача» древесины), а, значит, исключить в дальнейшем стадию осушающего вакуумирования. На первом этапе в процессе пропитки в режиме ВАД глубина проникновения рабочих растворов в объем древесины не превышала 1 мм для составов 1 и 2, и 0,5 мм для состава 3. Результаты пропитки способом ВАД представлены на рисунке 2.



а.



б.



в.

\* - среднее поглощение, кг/м<sup>3</sup>

**Рисунок 2 – Влияние концентрации пропитывающего раствора на величину поглощения при пропитке древесины по методу ВАД: а) состав 1; б) состав 2; в) состав 3**

Наибольшую проникающую способность показали состав 1 (рисунок 2 а) и состав 2 (рисунок 2 б). Характерной особенностью процесса пропитки древесины является большой разброс значений уровней поглощения, зависящий не только от свойств и концентрации пропитывающего раствора, но и от особенностей конкретного образца. Максимальное поглощение при пропитке полисахаридами (рисунок 2 в) не превышало 17 кг/м<sup>3</sup>. В то же время можно отметить более высокую стабильность значений поглощения при использовании состава 3. При

этом, снижение величины поглощения по мере разбавления характеризуется линейной зависимостью. Это можно объяснить более высокой вязкостью, и, соответственно, низкой проникающей способностью этого состава.

Для оценки влияния глубокой пропитки на поведение ДК в условиях стандартного температурного режима были подготовлены образцы бруса из древесины сосны сечением 100x200 мм и длиной 550 мм. Для обеспечения требуемой глубины пропитки (не менее 15 мм) по результатам проведения дополнительных режимных исследований были получены следующие условия пропитки: вакуумирование – 3 цикла, продолжительность цикла – 20 мин., разрежение – 0,08 МПа; импульсное гидродавление – 0,5 МПа (0,7 МПа для состава 3) 3 цикла, без выдержки.

В рамках диссертационной работы большой интерес представляет изучение влияние импульсного способа глубокой пропитки древесины на ее физико-механические характеристики, оценка которых проводилась по трем показателям: прочности при сжатии вдоль волокон, при статическом изгибе и при скалывании вдоль волокон. При проведении испытаний по определению предела прочности на изгиб установлено, что при поглощениях до 20 кг/м<sup>3</sup> прочностные характеристики пропитанных образцов соответствуют нативной древесине, независимо от применяемого пропиточного состава. Некоторое снижение прочности отмечается для образцов, пропитанных составом 2 при уровне поглощения более 50 кг/м<sup>3</sup>, минимальное значение в рассматриваемом случае, при поглощении 66 кг/м<sup>3</sup> составило 47 МПа, что на 39 % ниже минимального значения прочности, полученного для необработанной древесины.

Для состава 1 на основании полученных результатов можно говорить об отсутствии негативного влияния на прочностные характеристики древесины независимо от уровня поглощения. Так при поглощении 81 кг/м<sup>3</sup> предел прочности составил 75,5 МПа, что только на 2 % ниже минимального измеренного показателя необработанной древесины.

При оценке влияния огнебиозащитных составов на показатели прочности при сжатии (рисунок 3) и на скалывание (рисунок 4) отмечается отсутствие негативного влияния составов 1 и 2.

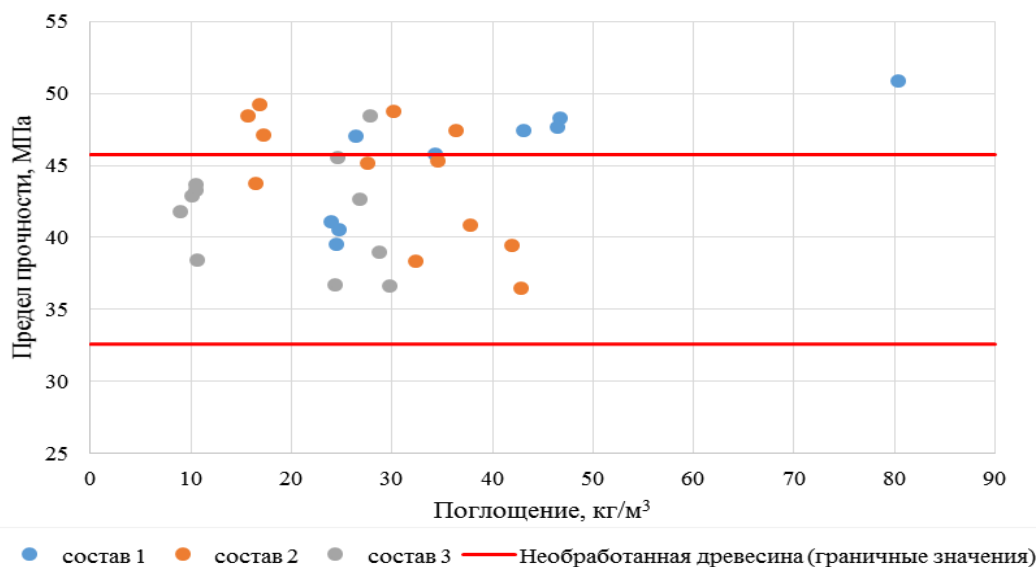
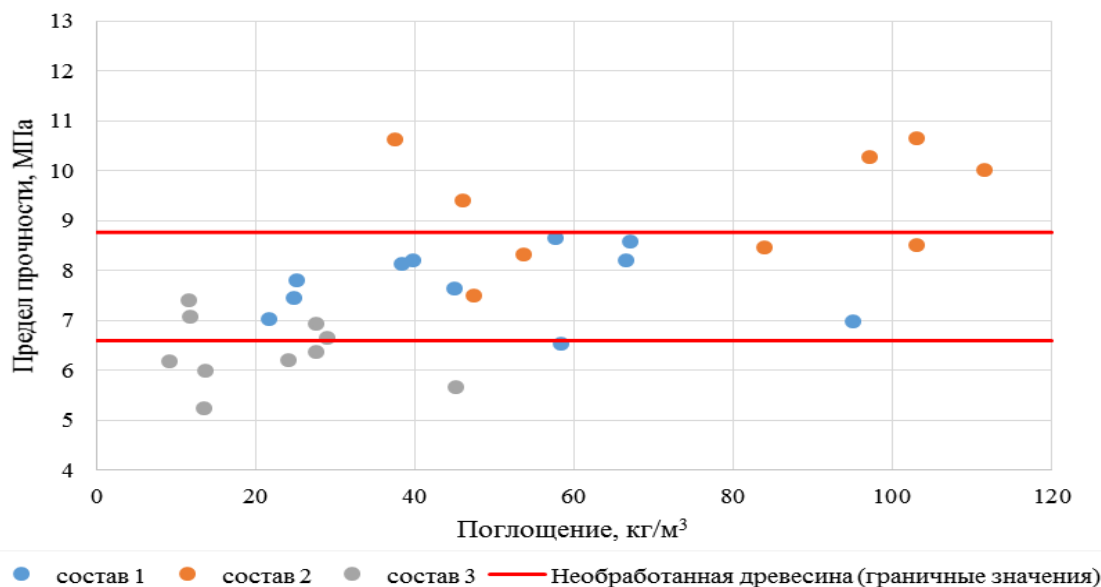


Рисунок 3 – Результаты испытаний образцов древесины по показателю прочности на сжатие



**Рисунок 4 – Результаты испытаний образцов древесины по показателю прочности на скалывание**

Для состава 1 характерно повышение предела прочности на сжатие при больших поглощениях (более 40 кг/м<sup>3</sup>), а состав 2 при экстремально высоких поглощениях (более 80 кг/м<sup>3</sup>) повышает предел прочности древесины на скалывание. Некоторое снижение прочности на скалывание отмечается для состава 3. В этом случае минимальное значение прочности на скалывание, полученное в ходе испытаний, на 13 % ниже нормативного.

Наряду с прочностными характеристиками, для строительных материалов, используемых при возведении ограждающих конструктивных элементов, большое значение имеют показатели теплопроводности и теплоемкости, определяющие эффективную толщину конструкции. Для древесины характерны низкие значения теплопроводности, определяющие высокую энергоэффективность зданий с ограждающими ДК. В рамках работы была проведена оценка влияния глубокой пропитки древесины ОБЗС на ее теплопроводность (таблица 2).

**Таблица 2 – Результаты исследования теплопроводности глубоко антипирированной древесины**

№ образца	Размеры образца, мм			Уровень поглощения, кг/м <sup>3</sup>	Условная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, кВт/м · К
	a	b	h			
1	2	3	4	5	6	7
1*	99,55	99,69	20,01	37,32	525	0,118
2*	99,56	99,51	19,79	49,81	527	0,122
3*	99,27	99,79	18,8	160,15	611	0,139
4**	100,75	100,67	19,64	58,24	559	0,115
5**	99,63	99,61	20,26	62,54	435	0,104
6**	99,92	99,92	19,77	64,94	446	0,098
7***	99,59	99,75	19,38	28,96	504	0,111
8***	99,77	99,77	20,09	20,38	491	0,113

1	2	3	4	5	6	7
9***	98,93	99,84	19,67	28,77	546	0,117
10	99,71	99,68	21,57	-	385	0,107
11	99,49	99,75	20,25	-	477	0,106
12	99,69	99,74	21,62	-	387	0,103

\* древесина, пропитанная составом 1;

\*\* древесина, пропитанная составом 2;

\*\*\* древесина, пропитанная составом 3

Как показывает анализ полученных результатов, введение в объем древесины огнебиозащитных составов незначительно повышает показатели условной плотности древесины. Вместе с тем для всех составов в пределах поглощений (до 40 – 60 кг/м<sup>3</sup>), достижимых в производственных условиях при пропитке массивных конструкций, значения теплопроводностей изменяются незначительно. Для составов 1 и 3 такое повышение не превышает 14 %. При повышении уровней поглощений пропитка может приводить к повышению значений теплопроводности. Так для состава 1 при введении в объем древесины 160 кг/м<sup>3</sup> огнебиозащитного состава обеспечило повышение теплопроводности примерно на 25 % к первоначальному уровню. В случае же с составом 2 значения теплопроводностей в исследованном интервале поглощений находились на уровнях близких к значениям необработанной древесины.

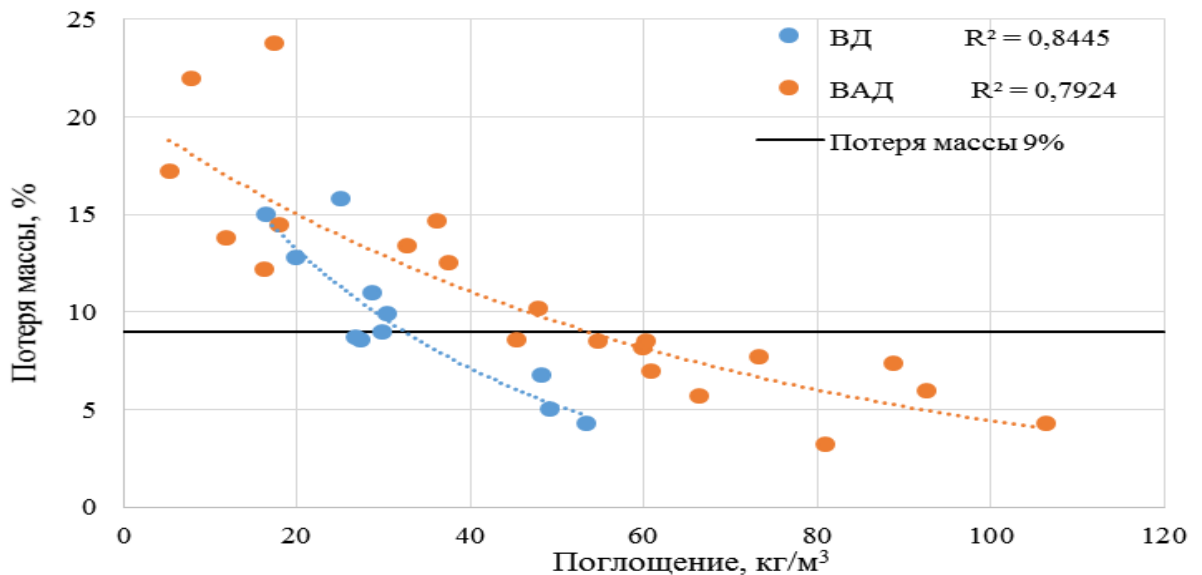
При определении целесообразности проведения пропитки древесины огнебиозащитными составами одним из критериев является оценка качества адгезии к наиболее распространенным пленкообразующим системам. Оценка адгезии лакокрасочных покрытий (ЛКП) к антипирированной подложке проводилась методом параллельных надрезов по трехбалльной системе. По результатам эксперимента можно сделать вывод о том, что присутствие в древесине солей составов 1 и 3 даже в значительных количествах не влияет на адгезию 3-хслойных влагостойких лакокрасочных покрытий на пропитанной подложке. На подложке, модифицированной составом 2, хорошая адгезия установлена для алкидно-уретанового лака (1 балл). Оценка адгезии акрилового лака составила 1,2 балла, хуже результат у пигментированной акриловой краски (1,4 балла). Таким образом, все три огнебиозащитные системы не ухудшают адгезию в отношении алкидно-уретанового лака к антипирированной подложке. Лакокрасочные покрытия на основе акриловой дисперсии характеризуются пониженной адгезией к поверхности древесины, пропитанной составом 2.

**В главе 4** представлены результаты исследования эффективности способа импульсной глубокой пропитки древесины и конструкций на ее основе огнебиозащитными составами.

В рамках диссертационного исследования представляет интерес установление влияния методов глубокой пропитки на эффективность составов. С этой целью пропитке методами ВАД и ВД подвергались стандартные образцы из древесины заболони сосны размерами 150x60x30 мм. В обоих случаях пропитка позволяла обеспечить одинаковые уровни поглощения, однако в случае пропитки по методу ВАД глубина проникновения антипирирующих составов не превышала

1 – 2 мм, пропитка по методу ВД обеспечивала сквозную пропитку стандартных образцов в случае применения составов 1 и 2. Глубина пропитки при использовании состава 3 во всех случаях не превышала 1 мм.

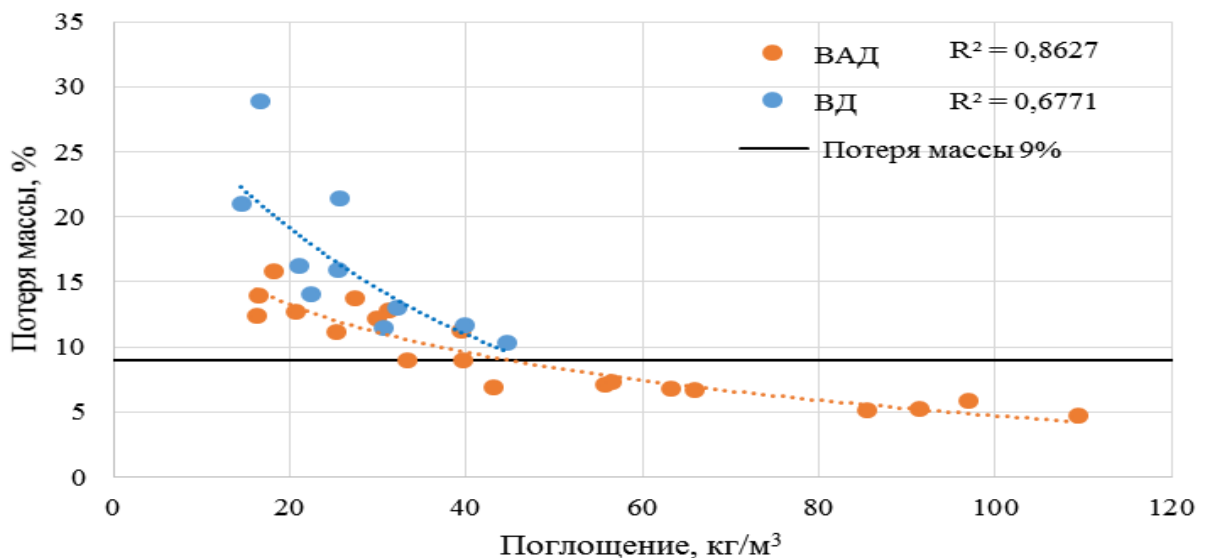
Результаты исследования огнезащитности древесины показали, что огнезащитная эффективность зависит не только от расхода огнебиозащитного состава, но и от глубины пропитки. Результаты испытаний по ГОСТ Р 53292-2009 образцов, пропитанных составом 1, представлены на рисунке 5.



**Рисунок 5 – Сравнение огнезащитной эффективности состава 1 при введении в объем древесины методами ВД и ВАД**

Из рисунка 5 видно, что первая группа огнезащитной эффективности при пропитке по методу ВАД достигается при поглощении на уровне 55 кг/м<sup>3</sup>, а при пропитке по методу ВД при поглощении более 30 кг/м<sup>3</sup>.

Для состава 2 преимущества глубокой пропитки не столь очевидны. При поглощении до 50 кг/м<sup>3</sup> (рисунок 6) эффективность составов примерно одинакова и находится на уровне II группы. I группа в исследуемом диапазоне поглощений при пропитке по методу ВД достигнута не была.



**Рисунок 6 – Сравнение огнезащитной эффективности состава 2 при введении в объем древесины методами ВД и ВАД**

Состав 3, при введении в структуру древесины, не обладает огнезащитной эффективностью (потеря массы превысила 25 %). Это обусловлено тем, что механизм данного состава основан на интумесцентом эффекте вспучивания огнезащиты при воздействии пожара. Высокая эффективность состава 3 проявляется в случае его поверхностного нанесения на поверхность ДК.

Одним из важнейших вопросов применения средств огнезащиты является их устойчивость к старению путем ускоренных климатических испытаний. Проведенные исследования показали, что применяемый способ импульсной глубокой пропитки огнебиозащитными составами 1 и 2 позволяет обеспечить сохранение огнезащищенности древесины сроком до 50 лет. Это объясняется прочным закреплением составов в структуре древесного композита при глубокой пропитке элементов ДК.

Для состава 3 перевод древесины в группу по воспламеняемости В2 (критическая плотность теплового потока  $20 \text{ кВт/м}^2$ ) обеспечивается при величине поглощения от  $19 \text{ кг/м}^3$ , в то время как составы 1 и 2 позволяют получить подобные показатели воспламеняемости при введении в структуру древесины  $25$  и  $40 \text{ кг/м}^3$  соответственно. Положительные результаты при обеспечении снижения распространения пламени по поверхности образцов древесины показали составы 1 и 2. При поглощении более  $10 \text{ кг/м}^3$  обеспечивается перевод древесины в группу медленно распространяющих (таблица 3), а при расходе более  $25 - 30 \text{ кг/м}^3$  в группу нераспространяющих пламя по поверхности материалов.

**Таблица 3 – Результаты оценки индекса распространения пламени (ИРП) образцов древесины с огнебиозащитными составами в зависимости от величины их поглощения**

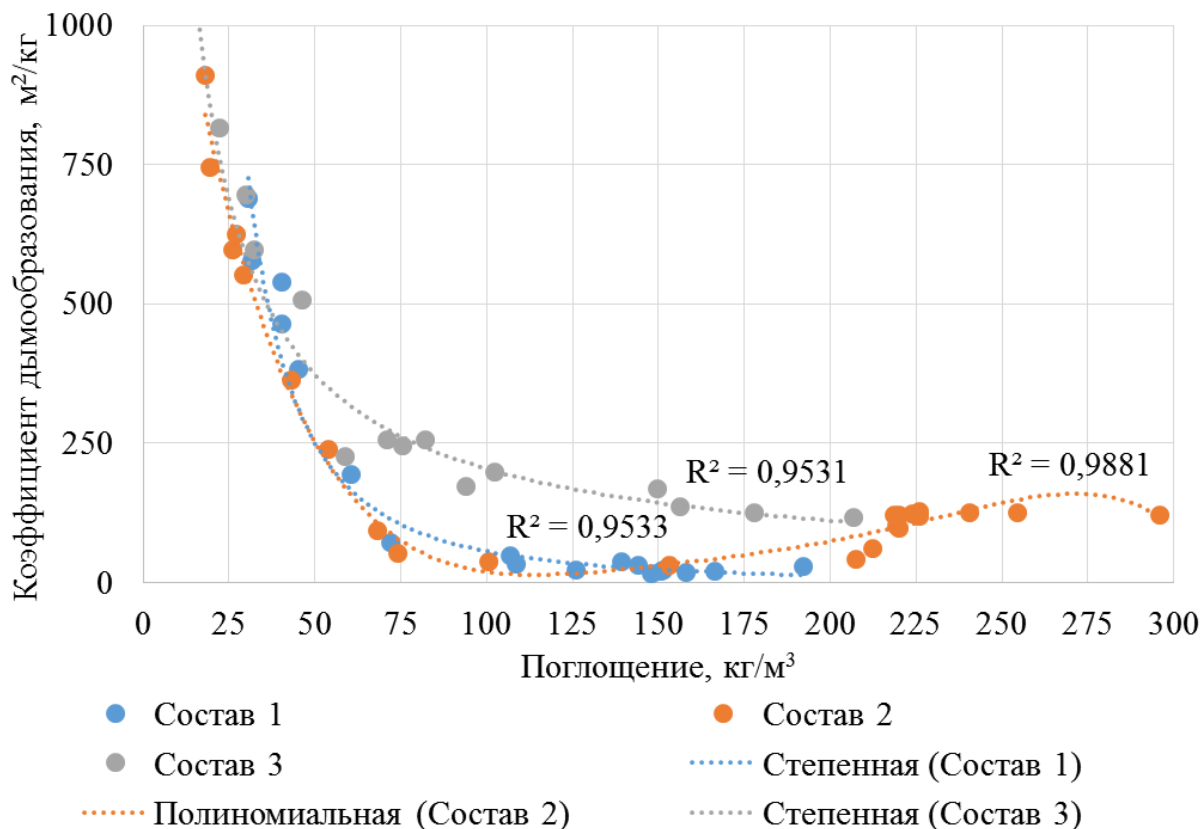
Наименование состава	Величина поглощения состава, $\text{кг/м}^3$		
	Нераспространяющие пламя	Медленно распространяющие пламя	Быстро распространяющие пламя
Состав 1	более 25	более 10	менее 10
Состав 2	более 25	более 9	менее 9
Состав 3	не достигнута	не достигнута	менее 28

Менее эффективным в снижении показателя ИРП образцов древесины сосны показал состав 3. При поглощении  $4 - 6 \text{ кг/м}^3$  индекс распространения пламени изменялся в пределах от 5,8 до 27,9. В связи с этим, образцы древесины с изучаемым составом были отнесены к материалам быстро распространяющим пламя по поверхности (таблица 3).

В отношении снижения дымообразующей способности все исследуемые составы обладают сравнительно одинаковой эффективностью, обеспечивая перевод древесины в группу Д2 при поглощении близком к  $40 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 7).

Составы 1 и 2 способны обеспечить перевод древесины в группу материалов Д1, однако величина поглощения (более  $75 \text{ кг/м}^3$ ) оказывается фактически недостижимой для крупноразмерных образцов и является чрезмерной, поскольку для конструкций классов пожарной опасности К1 и К2 достаточным условием является достижение группы Д2.





**Рисунок 7 – Результаты испытаний по оценке дымообразующей способности в зависимости от величины поглощения составов**

На примере состава 2 так же интересно отметить, что при поглощении более  $200 \text{ кг/м}^3$  древесина вновь переходит в группу Д2, что, по всей видимости, можно связать с перенасыщением материала веществами состава. Таким образом, по итогам исследований можно выделить контрольные значения, характеризующие влияние величины поглощения на физико-механические свойства и показатели пожарной опасности.

Полученные значения в целом подтверждают результаты ранее проведенных немногочисленных исследований, определяющих необходимость обеспечения поглощения не менее  $40 \text{ кг/м}^3$ . Для внешних поверхностей наружных стен определяющими являются показатели воспламеняемости и распространения пламени по поверхности, для обеспечения которых поглощение состава 1 может быть снижено до  $25 \text{ кг/м}^3$ . При этом в зависимости от размеров пропитываемых образцов, расход состава при глубокой пропитке может быть сопоставимым с расходом огнебиозащитных составов при поверхностной обработке. Так для состава 1 при уровне поглощения  $25 \text{ кг/м}^3$  и глубине пропитки 15 мм общий расход состава будет соответствовать расходу  $0,6 - 0,7 \text{ кг/м}^2$  при поверхностном нанесении.

Наиболее важным в диссертационном исследовании представлялось выявление особенностей поведения ДК, выполненных из деревянных элементов, подвергнутых импульсной глубокой пропитке огнебиозащитными составами. Испытаниям были подвергнуты 4 ограждающие конструкции, из которых 3 подвергались пропитке огнебиозащитными составами и ограждающая

конструкция из необработанной древесины. Для сборки конструкций использовался брус из древесины сосны сечением 100x200 мм и длиной 550 мм (ограничения лабораторного автоклава). Общие размеры ограждающих деревянных конструкций составляли 2300x1300 мм. В процессе испытания проводилась регистрация температуры в огневой и тепловой камерах, в соответствии со схемой установки термопар согласно ГОСТ 30403-2012, а также в объеме конструкции в геометрическом центре и в контрольной зоне по четыре термопары с заглублением на 20, 40, 60 и 80 мм.

По результатам испытания установлено, что воспламенение конструкции в огневой камере происходит через 4 минуты после начала испытания, а процесс воспламенения сопровождается быстрым нарастанием температуры. Температура стандартного температурного режима пожара в тепловой камере при испытании необработанной конструкции была превышена через 15 минут эксперимента, а значение верхнего температурного допуска через 25 минут испытаний. Вертикальные повреждения в тепловой камере превысили 80 см, что определяет отнесение конструкции к классу пожарной опасности К3.

При испытании конструкции из бруса, пропитанного огнебиозащитными составами, наблюдались следующие особенности: в случае с конструкциями, пропитанными составами 1 и 2, воспламенение древесины в огневой камере происходило через 6 и 8 минут соответственно при температуре в огневой камере на уровне 630 – 700 °С для конструкции пропитанной составом 1 и 550 – 600 °С для конструкции пропитанной составом 2. В процессе дальнейшего испытания температура в огневой камере находилась на уровне стандартного температурного режима пожара и в среднем была на 50 – 100 °С ниже по сравнению с образцом необработанной конструкции.

Аналогичные результаты были получены и в тепловой камере. В данном случае для составов 1 и 2 отмечается полное отсутствие теплового эффекта на протяжении всего времени испытания (45 минут), а разница температур относительно необработанной конструкции достигает 150 °С.

Необходимо так же отметить отсутствие на кривой температуры заметных «скачков», которые могли бы свидетельствовать о воспламенении конструкции. По результатам визуального наблюдения в процессе проведения испытания устойчивое горение в тепловой камере установилось для конструкции пропитанной составом 1 через 25 – 30 минут, а для пропитанной составом 2 – через 35 – 40 минут после начала эксперимента.

В случае с конструкцией пропитанной составом 3, учитывая отрицательные результаты по большинству предшествующих испытаний, было принято решение подвергнуть конструкции дополнительной поверхностной обработке. В результате испытаний, несмотря на то, что температура в огневой и тепловой камерах была выше, чем при испытании первых двух антипирированных конструкций, фактические значения не превысили допустимых уровней. Термические повреждения в тепловой камере так же для испытанной конструкции не превысили значений необходимых для отнесения конструкции к классу пожарной опасности К2(45).

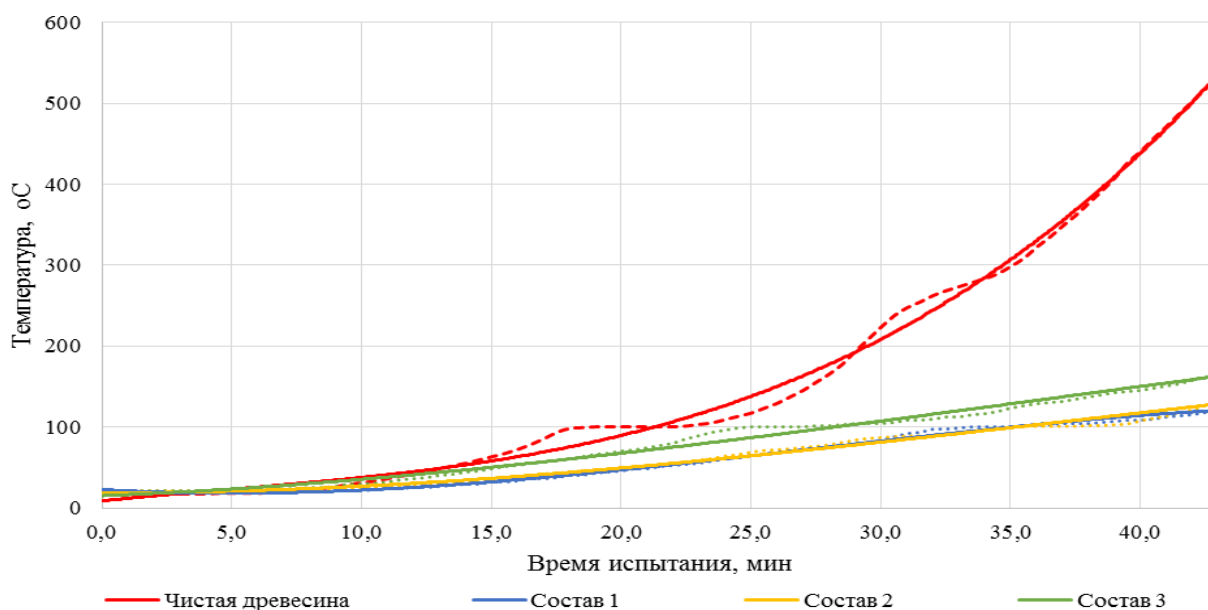
По результатам проведенных замеров глубины обугливания конструкций установлено, что средние скорости образования угля в огневой камере не превышают аналогичных значений для необработанной конструкции, в то же время в тепловой камере средняя скорость обугливания оказывается ниже в среднем на 0,13 мм/мин, а в огневой камере на 0,04 – 0,12 мм/мин (таблица 4).

**Таблица 4 – Значения скоростей обугливания деревянных конструкций**

Место замера глубины обугливания*	Без огнезащиты	Пропитка составом 1	Пропитка составом 2	Пропитка составом 3
Тепловая камера	0,37	0,23	0,24	0,25
Огневая камера	0,64	0,56	0,6	0,52

\* средние значения приведены по результатам не менее 30 замеров в каждой из камер.

В соответствии с методикой расчетного определения предела огнестойкости деревянных конструкций из расчетов исключается слой перегретый выше 100 °С. При анализе значений температуры на термопарах, расположенных в объеме конструкции, отмечается меньшая динамика прогрева. Так в геометрическом центре отставание температуры для бруса, пропитанного составами 1 и 2, в среднем составляет 15 минут на глубине 20 мм (рисунок 9) и 20 минут на глубине 40 мм, а для конструкции пропитанной составом 3 – 7 и 15 минут соответственно.



**Рисунок 9 – Результаты контроля температуры прогрева конструкции в ее геометрическом центре на глубине 20 мм от экспонируемой поверхности**

Полученные данные могут свидетельствовать о зависимости свойств образующегося угля и его теплофизических характеристик от особенностей высокотемпературного воздействия, в том числе от скорости нарастания температуры. По полученным значениям объективного контроля температуры в конструкциях средствами математического аппарата программного комплекса *Microsoft Excel* были подобраны полиномиальные зависимости, наиболее адекватно характеризующие динамику прогрева ДК по достижению температуры 100 °С на глубине конструкции 20, 40 и 60 мм.

Для прогрева конструкции на глубине 20 мм в огневой камере установки эти зависимости выглядят следующим образом:

- для древесины:

$$y=0,0073x^3 - 0,1044x^2 + 3,2014x + 8,9727, R^2=0,9948 \quad (1)$$

- для древесины с огнебиозащитным составом 1:

$$y= - 0,0025x^3 + 0,202x^2 - 1,8454x + 22,9, R^2=0,9947 \quad (2)$$

- для древесины с огнебиозащитным составом 2:

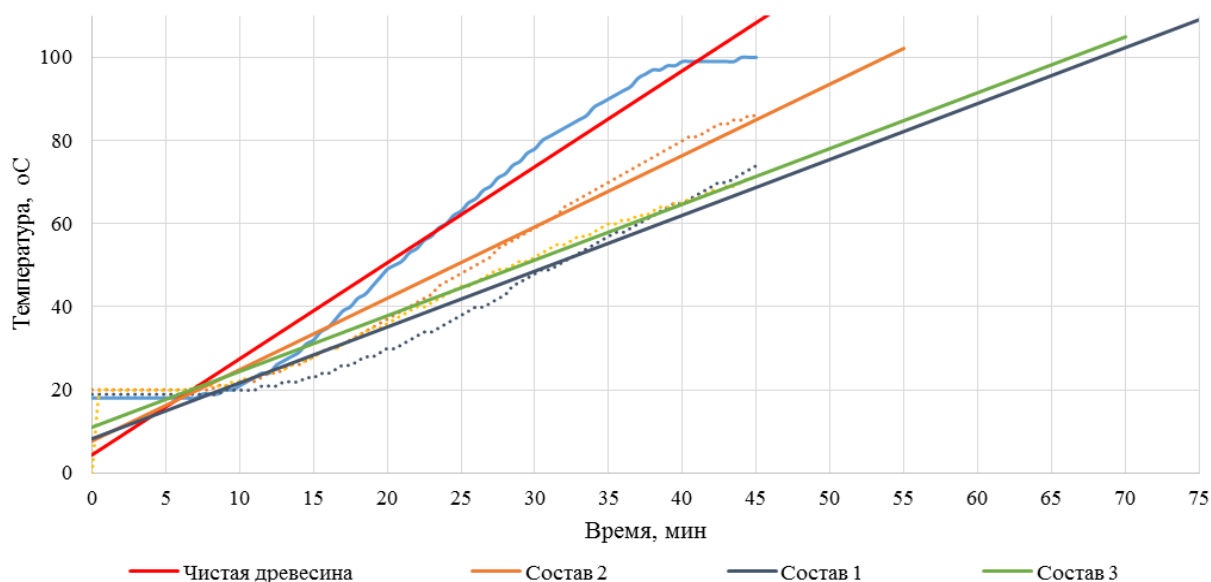
$$y= - 0,0008x^3 + 0,0968x^2 - 0,0782x + 19,019, R^2=0,986 \quad (3)$$

- для древесины с огнебиозащитным составом 3:

$$y= - 0,0007x^3 + 0,0819x^2 + 1,2891x + 15,203, R^2=0,9861 \quad (4)$$

Доверительная вероятность для глубин 40 и 60 мм составляет 0,98 – 0,99 и 0,82 – 0,94 соответственно.

Для контрольной зоны прогрев образцов ограждающих ДК происходит менее интенсивно, обусловленный температурным режимом, заданным в тепловой камере установки (рисунок 10).



**Рисунок 10 – Данные контроля температуры прогрева конструкции в центре контрольной зоны на глубине 20 мм от экспонируемой поверхности**

Аналогично для прогрева конструкции на глубине 20 мм в тепловой камере установки были получены следующие зависимости:

- для древесины:

$$y=2,3128x + 4,4685, R^2=0,9715 \quad (5)$$

- для древесины с огнебиозащитным составом 1:

$$y=1,7193x + 7,612, R^2=0,639 \quad (6)$$

- для древесины с огнебиозащитным составом 2:

$$y=1,3466x + 8,1194, R^2=0,9435 \quad (7)$$

- для древесины с огнебиозащитным составом 3:

$$y=1,3413x + 11,128, R^2=0,9775 \quad (8)$$

При использовании полученных зависимостей расчетным путем было определено время достижения температуры 100 °С в тех точках, где эта температура не была достигнута в условиях эксперимента.

Полученные результаты для огневой камеры установки представлены в таблице 5.

**Таблица 5 – Характеристики динамики прогрева конструкций, пропитанных огнебиозащитными составами (огневая камера)**

Расстояние от экспонируемой поверхности, мм	Нативная древесина		Состав 1		Состав 2		Состав 3	
	t <sub>1</sub> , мин	v <sub>2</sub> , мм/мин	t <sub>1</sub> , мин	v <sub>2</sub> , мм/мин	t <sub>1</sub> , мин	v <sub>2</sub> , мм/мин	t <sub>1</sub> , мин	v <sub>2</sub> , мм/мин
20	18	1,1	33	0,61	35	0,57	24	0,83
40	39	1,0	62*	0,65	64*	0,63	51*	0,78
60	70*	0,9	101*	0,59	104*	0,57	96*	0,63

1 – время достижения температуры 100 °С; 2 – скорость прогрева конструкции до 100 °С;

\* - расчетные значения.

Представленные результаты характеризуют способность огнебиозащитных составов снижать динамику прогрева деревянных конструкций. Фактически для всех случаев значения скоростей прогрева до 100 °С имеют значения близкие к скоростям обугливания. Применение огнебиозащитных составов позволяет значительно снизить толщину слоя, перегретого выше 100 °С, за фронтом обугливания от 25 до 49 % по отношению к необработанной древесине, что необходимо учитывать при расчетной оценке пределов огнестойкости ДК.

**Заключение** содержит констатацию основных научных и практических результатов.

**В приложениях** представлены акты внедрения диссертационной работы, результаты исследования проникающей способности ОБЗС, результаты оценки физико-механических и пожароопасных свойств древесины, а также протоколы испытаний на биостойкость по ГОСТ 30028.4.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертационной работе впервые комплексно решена научная задача обеспечения снижения пожарной опасности деревянных конструкций путем применения способа импульсной глубокой пропитки огнебиозащитными составами с сохранением физико-механических характеристик ДК, обеспечения их биостойкости и долговечности. Полученные результаты свидетельствуют о потенциально широких возможностях применения данных технологий для обеспечения пожарной безопасности на современных объектах деревянного домостроения с учетом действующих нормативных документов в области пожарной безопасности и перспектив развития данного направления.

2. Установлено, что вид применяемого в условиях способа импульсной глубокой пропитки огнебиозащитного состава, его характеристики, особенности технологии и параметры режима пропитки оказывают влияние на физические, теплофизические, физико-механические характеристики деревянных конструкций, а также на адгезию лакокрасочных покрытий к деревянной подложке. Так, например, показано, что в некоторых случаях при увеличении содержания в древесине сухих солей коэффициент теплопроводности повышается

на 10 – 16 %, а в некоторых случаях изменяется в диапазоне от 0,098 до 0,115 Вт/м·К, что характерно для нативной древесины сосны.

3. Изучено влияние способов и режимов глубокой пропитки древесины различными видами огнебиозащитных составов на ее физико-механические характеристики для основных видов напряженного состояния деревянной конструкции (изгиб, скалывание вдоль волокон, сжатие). Установлена возможность сохранения и повышения физико-механических показателей деревянных конструкций на 7 – 9 % при использовании соответствующих режимов импульсного способа пропитки при обеспечении требуемых показателей по пожарной опасности материалов и конструкций из древесины.

4. Определены оптимальные режимы импульсной глубокой пропитки древесины огнебиозащитными составами, отличающихся по своему механизму огнезащитного действия, для эффективного снижения пожарной опасности древесного материала. Проведенные исследования позволили перевести древесину в группу материалов средней воспламеняемости (В2), с малой дымообразующей способностью (Д1) и нераспространяющих пламя по поверхности материалов (ИРП=0).

5. Комплекс экспериментальных показателей по пожарной опасности деревянных конструкций с импульсной глубокой пропиткой огнебиозащитными составами включены в базу характеристик горючих нагрузок *FireCategories*, *FIM*-интегральная модель пожара, *PyroSim*, предназначенных для моделирования опасных факторов пожара и расчета пожарного риска в зданиях и сооружениях различных классов функциональной пожарной опасности.

6. Предложены математические зависимости динамики прогрева деревянных конструкций в присутствии огнебиозащитных составов по достижению температуры 100 °С, которые могут использоваться для моделирования поведения ДК в условиях пожара и расчетной оценки пределов их огнестойкости.

7. Экспериментально подтверждена возможность эффективного повышения класса пожарной опасности деревянных конструкций при проведении глубокой импульсной пропитки огнебиозащитными составами с установлением оптимальных параметров этого процесса до класса К2(45). В условиях огневых испытаний по ГОСТ 30403-2012 применение данного способа пропитки позволяет снизить интенсивность процесса обугливания в пределах 10 – 15 %, что является определяющим при обеспечении требуемых показателей по огнестойкости деревянных конструкций.

8. Результаты диссертационной работы внедрены в практическую деятельность научно-производственных предприятий ООО «Ловин-огнезащита» (г. Москва) и ООО «Нитон» (г. Екатеринбург) по обеспечению требуемых показателей пожарной опасности деревянных конструкций зданий и сооружений.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК:**

1. Нигматуллина, Д.М. Огнестойкость термически модифицированной древесины [Электронный ресурс] / А.Б. Сивенков // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 3. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-3/35-03-15.ttb.pdf>.

2. Нигматуллина, Д.М. Глубокая пропитка деревянных конструкций для повышения их пожарной безопасности [Электронный ресурс] / Е.Ю. Полищук, А.Б. Сивенков, Е.И. Стенина // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 4. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-4/38-04-16.ttb.pdf>.

3. Нигматуллина, Д.М. Антипирирование деревянных конструкций способом глубокой пропитки [Электронный ресурс] / Е.И. Стенина, Е.Ю. Полищук, А.Б. Сивенков // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 5. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-5/04-05-16.ttb.pdf>.

4. Нигматуллина, Д.М. Физико-механические и пожароопасные свойства древесины с глубокой пропиткой огнебиозащитными составами [Текст] / А.Б. Сивенков, Е.Ю. Полищук, Е.И. Стенина, В.М. Балакин // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 25, № 10. — С. 30–40. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.30-40.

5. Нигматуллина, Д.М. Пожарная опасность деревянных конструкций с глубокой пропиткой огнебиозащитными составами [Электронный ресурс] / Е.Ю. Полищук, А.Б. Сивенков, Е.И. Стенина, В.М. Балакин // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 3. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-3/30-03-17.ttb.pdf>.

**Остальные публикации по теме диссертации:**

6. Нигматуллина, Д.М. Огнестойкость деревянных конструкций из термически модифицированной древесины [Текст] / А.Б. Сивенков // Материалы всероссийской конференции и школы для молодых ученых «Системы обеспечения техносферной безопасности». – Таганрог. – 2015. – С. 61 – 63.

7. Нигматуллина, Д.М. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций из модифицированной древесины [Текст] / А.Б. Сивенков // Материалы VI-й международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» – 2015» (23-24.10.2015). – Кокшетау. 2015. – С. 140 – 144.

8. Нигматуллина, Д.М. Пожарная опасность строительных конструкций из термомодифицированной древесины [Текст] / А.Б. Сивенков // Материалы 24-й международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2015». – Москва. 2015. – с. 142 – 144

9. Нигматуллина, Д.М. Пожарная опасность термомодифицированной древесины, проблемы и перспективы ее применения [Текст] / А.Б. Сивенков // Материалы 5-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2016». – Москва. 2015. – с. 85 – 90.

10. Нигматуллина, Д.М. Влияние условий модификации древесины на пожарную опасность и огнестойкость деревянных конструкций [Текст] / А.Б. Сивенков // Материалы Дней науки (23-27 мая 2016) в 2 частях «Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации» ч. 2. – Екатеринбург». 2016.– С. 48 – 50.

11. Нигматуллина, Д.М. Пожарная опасность композиционных материалов на основе термомодифицированной древесины [Текст] / А.Б. Сивенков // Доклады VII Международной научной конференции «Композит-

2016» «Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология». – Энгельс. – 2016. – С. 49 – 50.

12. Нигматуллина, Д.М. Применение способов глубокой пропитки деревянных конструкций для повышения их пожаробезопасности [Текст] / Е.Ю. Полищук, А.Б. Сивенков // Материалы 25-й международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2016». – Москва. – 2016. – С. 269 – 272.

13. Нигматуллина, Д.М. Исследование эффективности способа глубокой пропитки древесины различными огнезащитными системами [Текст] / Е.Ю. Полищук, А.Б. Сивенков, Е.И. Стенина // Материалы 5 международной научно-практической конференции «Ройтмановские чтения». – Москва. – 2017. – С. 60 – 63.

14. Нигматуллина, Д.М. Повышение пожарной безопасности деревянных конструкций методом глубокой пропитки огнезащитными составами [Текст] / Е.Ю. Полищук, А.Б. Сивенков, Е.И. Стенина // Материалы XI Международной научно-технической конференции: «Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики». – Екатеринбург. – 2017. – С. 132 – 133.

15. Нигматуллина, Д.М. Исследование эффективности огнезащитных систем при глубокой пропитке древесины [Текст] / Е.Ю. Полищук, А.Б. Сивенков, Е.И. Стенина // Материалы 6-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2017». – Москва. – 2017. – С. 83 – 86.

16. Нигматуллина, Д.М. Изучение проникающей способности антипиренов различных видов для древесины [Текст] / М.А. Андреев, Е.И. Стенина // Материалы международной научной конференции «Молодые исследователи – регионам». – т. 1. – Вологда. – 2017. – С. 233-234.

17. Нигматуллина, Д.М. Пожарная опасность древесины с глубокой пропиткой антипиренами [Текст] / Е.Ю. Полищук, А.Б. Сивенков, Е.И. Стенина // Материалы VIII Международная конференция «Полимерные материалы пониженной горючести» памяти академика Жубанова Булата Ахметовича. – Алматы. – 2017. – С. 153 – 155.

18. Нигматуллина, Д.М. Применение способа импульсной пропитки древесины антипиренами для снижения ее пожарной опасности [Текст] / Е.И. Стенина, Е.Ю. Полищук, А.Б. Сивенков // Материалы XXX Международной научно-практической конференции «Горение и проблемы тушения пожаров» ФГБУ ВНИИПО МЧС России. – Москва – 2017. – С. 268 – 271.

Подписано в печать 26.12.2017. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Печать офсетная. Усл.-печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 196.

Академия ГПС МЧС России. 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4